

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Физико-технический институт
Направление подготовки 03.03.02. – Физика
Кафедра общей физики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Цифровой спектрометрический модуль спектрометрии временного распределения аннигиляции позитронов

УДК 539.124.6: 539.121.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б30	Чэнь Шумэн		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Лаптев Р. С.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Е.В.	Кандидат философских наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Волков Ю.В.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Общей физики	Лидер А. М.	к.ф.-м.н., доцент		

Томск – 2017 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Физико-технический институт
 Направление подготовки 03.03.02. – Физика
 Кафедра общей физики

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой ОФ

 (Подпись) (Дата) Лидер А.М.
 (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
150Б30	Чэнь Шумэн

Тема работы:

Цифровой спектрометрический модуль спектрометрии временного распределения аннигиляции позитронов
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования являлся цифровой спектрометрический модуль временного распределения аннигиляции позитронов.</p> <p>Для калибровки цифрового модуля использованы образцы металлов и сплавов после высокотемпературного отжига в вакууме. Размер образцов: 30×30×1 мм;</p> <p>Особые требования: использование защитной одежды и свинцовой защиты при работе с</p>
---	---

	радиоактивным источником.
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> – Литературный обзор по физическим основам методам позитронной спектроскопии; – Изучить принцип и порядок работы на цифровом спектрометрическом модуле временного распределения аннигиляции позитронов; – Подготовка образцов для калибровки; – Измерение времени жизни позитронов в стандартных образцах; – Обработка набранных спектров с помощью специализированного программного обеспечения; – Анализ полученных результатов; – Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; – Социальная ответственность; – Заключение.
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Меньшикова Екатерина Валентиновна, доцент МЕН ИСГТ
Социальная ответственность	Волков Юрий Викторович, доцент ЭБЖ ИНК
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
Глава 1. Физические основы методов позитронной спектроскопии	
Глава 2. Цифровой модуль спектрометрии по времени жизни позитронов	
Глава 3. Определение технических характеристик цифрового модуля спектрометрии по	

времени жизни позитронов

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Глава 5. Социальная ответственность

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Лаптев Р. С.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б30	Чэнь Шумэн		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
150Б30	Чэнь Шумэн

Институт	Физико-технический	Кафедра	Общей физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	03.03.02 – Физика

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимости ресурсов научного исследования (НИ) составляет 232932 рублей.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Расходования электрической энергии: 6514 кВт*час; Расходования материалов: образцы металлов 6 штук и наждачная бумага 2 М ² и резиновые перчатки 10 штук.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Налоговый кодекс Российской Федерации.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Данное устройство имеет хороший коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Основные этапы: разработка технического задания, выбор направления исследований, теоретические исследования, экспериментальные исследования, разработки результатов, оформление отчёта. Бюджет затрат НИ: 232932 рублей.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, эффективности исследования	Высокая эффективность.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Е.В.	Кандидат философских наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б30	Чэнь Шумэн		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
150Б30	Чэнь Шумэн

Институт	Физико-технический	Кафедра	Общей физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	03.03.02 – Физика

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p><i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) 	<p>Работа проведена в лаборатории на подвальном этаже в третьем корпусе.</p> <ul style="list-style-type: none"> – При работе с цифровым модулем спектрометрии временного распределения аннигиляции позитронов возникли следующие вредные факторы: <ul style="list-style-type: none"> 1. Превышение интенсивности электромагнитных и радиоактивных излучений. 2. Плохое состояние микроклимата рабочей зоне 3. Превышение уровней интенсивности шума; 4. Недостаточная освещенность в рабочей зоне; – При работе с цифровым модулем опасный фактор – это электрический ток и термическая опасность. – В работе возникают отходы образцов металлов и бумаги, которые могут вызвать загрязнение окружающей природной сферы. – Возможно, возникают пожар в процессе работы.
<p><i>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> – СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. – СанПиН 2.2.4.548 – 96. – ГОСТ 12.1.006 – 84 ССБТ. – ГОСТ 12.1. 045 – 84 ССБТ. – СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 – 03. – СанПиН 2.2.2/2.4.1340– 03.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><i>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты 	<ul style="list-style-type: none"> – Превышение интенсивности электромагнитных и радиоактивных излучений связано с тем, что данный модуль нужно использовать радиоактивный источник. Микроклимат, шум и освещённость связаны с тем что прибор находится подвальном этаже. – Превышение интенсивности электромагнитных и радиоактивных излучений возникает нарушение структуры клеток и путаницу организма, микроклимат, шум
---	---

<p><i>(сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</i></p>	<p>влияют на скорость реакции мозга, освещённость влияет на зрение.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Согласно СанПиНу 2.2.4.548-96, температура воздуха в помещении должна в диапазоне от 22 до 24°C, относительная влажность должна в диапазоне от 40 до 60%, скорость движения воздуха должна меньше 0,1м/с. Согласно СанПиНу 2.4.1340-03: уровень шума должен меньше чем 55 децибел (дБ) в дневное время и норма интенсивности электромагнитных и радиоактивных излучений составляет 0,005 Дж/кг. – Проверить отсутствие внешних повреждений электрооборудования, наличие и исправность контрольных, измерительных и сигнальных. Надеть спецодежду, приборов, при операции с источником необходим за защиту изделия из свинца толщины 10 см
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожар взрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) 	<p>2. Анализ опасных факторов проектируемой производственной среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Термическая опасность (печь нагрева образцов; защита специальной конструкцией установки, изолирующие слои, соблюдение правил безопасности и эксплуатации установки); – Электробезопасность (непосредственное питание установки от сети постоянного тока 220 в; средства защиты, предусмотренные конструкцией установки, соблюдение правил и инструкций по электробезопасности при работе) – Пожар взрывобезопасность (баллоны с газом; соблюдение правил безопасности и эксплуатации установки).
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<ul style="list-style-type: none"> – Факторы рабочего места, влияющие на окружающую среду: выброс в литосферу использованные бумаги и образцы металлов; – Для обеспечения экологической безопасности нужно тщательно разработать с отходами чтобы не принесет загрязнение литосфере.
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Возникновение возгорания; Поражение оператора установки электрическим током – Поражение оператора установки электрическим током; – Предотвращение пожара достигается путем исключения легко воспламеняемых предметов и источников возгорания, а также поддержанием среды в условиях, препятствующих возгоранию. – Для тушения пожара имеются пожарные стволы, внутренние пожарные

	водопроводы, огнетушители и сухой песок
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	<ul style="list-style-type: none"> – При операции с источником необходим за защиту изделия из свинца толщины 10 см – Для предотвращения возникновения пожара с работниками здания проводятся специальные семинары, на которых происходит знакомство с основами противопожарной безопасности и обучение работе с первичными средствами пожаротушения.
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	План эвакуации

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Волков Ю.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б30	Чэнь Шумэн		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 78 с., 15 рисунков, 39 таблиц, 40 литературных источников.

Ключевые слова: позитрон, аннигиляция, спектрометрия по времени жизни позитронов, дигитайзер, калибровка.

Объектом исследований являлся цифровой спектрометрический модуль временного распределения аннигиляции позитронов.

Целью работы: калибровка и настройка цифрового модуля спектрометрии временного распределения аннигиляции позитронов с системой внешней синхронизации.

В первой главе представлены теоретическое описание физических основ методов позитронной спектрометрии.

Во второй главе описаны принципы метода позитронной спектрометрии, а также цифровой спектрометрический модуль по распределению времени аннигиляции позитронов.

В третьей главе представлены калибровка и настройка спектрометрического модуля, а также полученные результаты.

В четвертой главе описан финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение данной работы.

В пятой главе описана социальная ответственность проведенного исследования.

Область применения: результаты работы могут быть применены для прецизионных исследований дефектной структуры различных материалов.

Введение	12
1 Физические основы методов позитронной спектроскопии	14
1.1 Источники позитронов	14
1.2 Термализация	17
1.3 Диффузия	20
1.4 Захват позитронов и аннигиляция	22
2 Цифровой модуль спектрометрии по времени жизни позитронов	23
2.1 Спектрометрия по времени жизни позитронов	23
2.2 Схема и описание цифрового модуля	26
2.3 Настройка, сбор и обработка сигналов с детекторов	30
3 Определение технических характеристик цифрового модуля спектрометрии по времени жизни позитронов	33
3.1 Подготовка стандартных образцов	33
3.2 Результаты обработки спектров временного распределения аннигиляции позитронов на стандартных образцах	34
3.3 Оценка вклада от источника позитронов	47
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	49
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	49
4.2 Анализ конкурентных технических решений	49

4.3 SWOT – анализ	51
4.4 Планирование научно-исследовательских работ	53
4.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	57
5 Социальная ответственность	62
5.1 Производственная безопасность	62
5.2 Организационные мероприятия обеспечения безопасности	66
5.3 Особенности законодательного регулирования проектных решений	68
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	69
5.5 Вывод по социальной части	71
Заключение	72
Список литературы	74

Введение

Методы позитронной спектроскопии (ПС) представляет собой эффективные лабораторные методики для исследования электронной структуры материалов в физике твердого тела. Для исследования структурных дефектов может быть использован метод спектрометрии временного распределения аннигиляции позитронов (ВРАП). Данный метод имеет высокую чувствительность к различным дефектам, таких как: вакансии, дислокации и другие объемные дефекты. С помощью метода ВРАП, возможно исследовать механизм и динамику возникновения, превращения, и исчезновения дефектов. Для получения дополнительной информации о структуре металла, необходимо использовать вспомогательные методы: метод доплеровского уширения аннигиляционной линии, электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа.

Данная работа посвящена развитию последнего поколения спектрометров позитронной спектроскопии, а именно цифрового модуля спектрометрии ВРАП. Для повышения технических характеристик модуля была использована система предварительного анализа сигналов, поступающих с детекторов. Данная система осуществляет предварительный отбор сигналов и формирует управляющий импульс для дигитайзера. Для оценки технических характеристик спектрометрического модуля спектрометрии ВРАП с системой предварительного отбора сигналов необходимо провести настройку и калибровку модуля на стандартных образцах.

Целью работы является калибровка и настройка цифрового модуля спектрометрии временного распределения аннигиляции позитронов с системой внешней синхронизации. Для достижения цели были решены следующие задачи:

1. Изучены физические основы методов позитронной спектроскопии.
2. Изучены принцип и порядок работы на цифровом спектрометрическом модуле временного распределения аннигиляции позитронов;
3. Подготовлены образцы для калибровки;
4. Проведено измерение времени жизни позитронов в стандартных образцах;
5. Осуществлена обработка набранных спектров временного распределения аннигиляции позитронов;
6. Определены технические характеристики цифрового модуля спектрометрии временного распределения аннигиляции позитронов с системой внешней синхронизации.

1 Физические основы методов позитронной спектроскопии

В последние годы, применение аннигиляции позитронов интенсивно развивается. Развитие данных методик не случайно. С одной стороны, это связано с фундаментальными проблемами физики: рождением и эволюцией Вселенной, позитронной астрофизикой, взаимодействием вещества и антивещества. С другой стороны, изучение аннигиляции позитронов также связано с развитием новых методов исследования электронной структуры материалов.

Методы электрон-позитронной аннигиляции являются ядерно-физическими методами анализа вещества, используемые в материаловедении. Данные методики являются эффективным инструментом для исследования дефектов и электронной структуры материала, поскольку позитроны обладают чувствительностью к распределению. Методы электрон – позитронной аннигиляции зарекомендовали себя как эффективные лабораторные методики для исследования дефектной структуры.

1.1 Источники позитронов

Существует несколько способов получения позитронов для реализации методов ПС. Одни из самых распространенных - получение позитронов из распада радиоактивных изотопов, или за счет торможения электромагнитного излучения высокой энергии в поле ядра. Для экспериментальной реализации методов ПС в лаборатории чаще всего используются радиоактивные изотопы, претерпевающие β^+ -распад. Данный распад имеет следующий вид:



где A – зарядовое число; Z – массовое число; X – исходный элемент; X' – элемент после распада; β^+ – позитрон; ν_e – электронное нейтрино; γ –

электромагнитный квант. В этом случае γ присутствует в формуле, поскольку для большинства элементов после β^+ -распада дочернее ядро находится в возбужденном состоянии. После излучения позитрона и нейтрино ядра за очень короткое время (10^{-12} с) из возбужденного состояния переходят в основное состояние с испусканием γ -кванта. Эти два процесса происходят практически одновременно. Основная особенность данного распада – это непрерывный энергетический спектр позитронов [1-7]. Распределение энергии позитронов можно описать следующей формулой:

$$\frac{dN}{dE} = D\sqrt{E(E+2mc^2)}(E+mc^2)(E_{\max}-E)^2 \quad (2)$$

где N – это количество позитрона; E – это энергия позитрона; D – это нормировочный коэффициент; m – это масса покоя позитрона; c – это скорость света; E_{\max} – это максимальная энергия позитронов. Чаще всего используют следующие изотопы: ^{44}Ti , ^{22}Na , ^{26}Al , ^{58}Co , ^{68}Ge . Некоторые характеристики данных изотопов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики изотопов для позитронной спектроскопии [8]

Изотоп	Период полураспада, лет	Выход позитронов,	Максимальная энергия позитронов, МэВ	Энергия γ -кванта, МэВ
^{22}Na	2,6	90%	0,54	1,27
^{26}Al	8×10^5	85%	1,17	1,81
^{44}Ti	47,5	94%	1,47	1,157
^{58}Co	0,21	15%	0,47	0,81
^{68}Ge	0,75	88%	1,90	1,08

В настоящее время наряду с традиционным источником на основе ^{22}Na все чаще используется изотоп ^{44}Ti , поскольку он обладает высоким выходом позитронов, при этом имеет достаточно большой период полураспада и высокую энергию позитронов, что позволяет исследовать материал в объеме. Данный изотоп герметично упаковывается в защитную капсулу, что снижает риск загрязнения окружающей среды.

Распада изотопа ^{44}Ti осуществляется в две стадии: первый процесс – это захват электрона ядром с испусканием электронного нейтрино:



где e – это электрон. При этом испускаются γ -кванты с энергией 67 и 78 кэВ.

Следующий процесс – это β^+ -распад скандия:



При этом испускаются позитроны и γ -кванты с энергией 1157 кэВ. Схема распада, и соответствующие спектры для первого и второго распадов представлены на рисунках 1 и 2, соответственно.

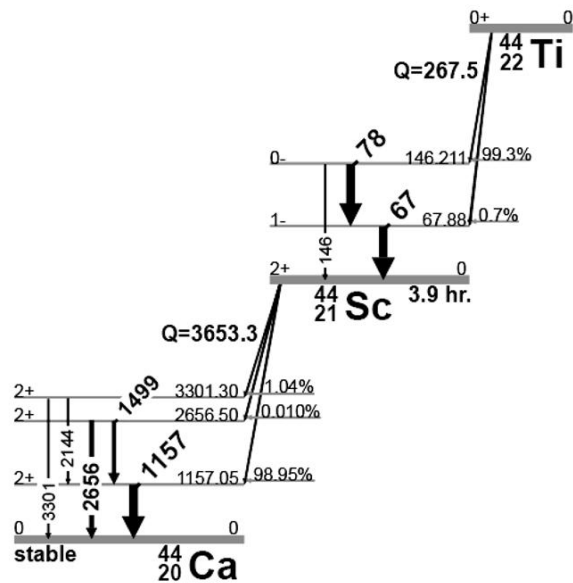
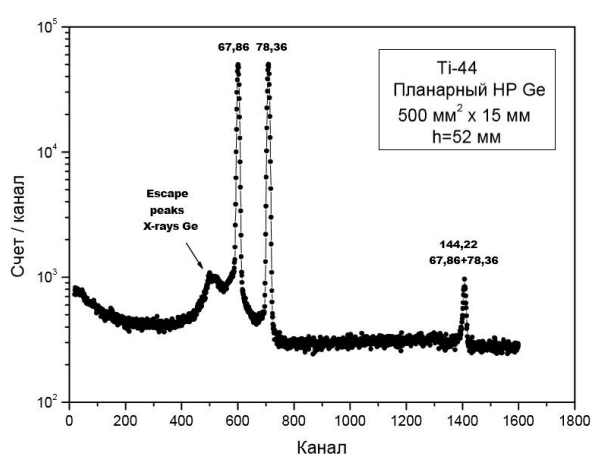
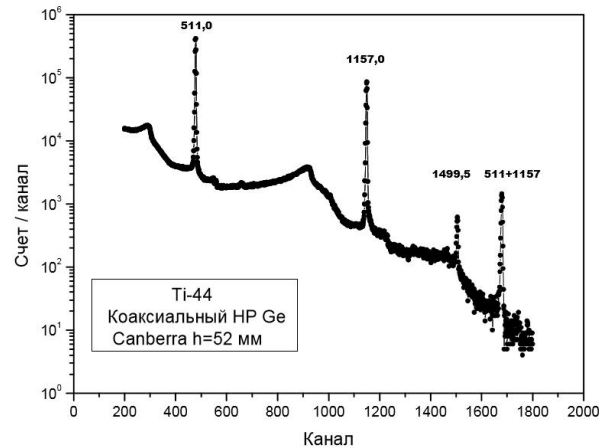


Рисунок 1 – Схема распада ^{44}Ti [9]



а)



б)

Рисунок 2 – Аппаратурный спектр первого (а) и второго распадов (б), измеренный на планарном полупроводниковом детекторе GLO515R Canberra [9]

1.2 Термализация

Термализация – это процесс замедления частицы при попадании в твёрдое тело. В этом процессе позитроны сталкиваются с атомами исследуемого материала и передают им свою энергию, соответственно энергия позитронов уменьшается до тепловых значений:

$$E = kT \quad (5)$$

где k – это постоянная Больцмана; T – это температура образца. При высоких энергиях позитрона, потери идут в основном за счет упругого рассеяния позитрона на ионах и неупругого рассеяния на ядрах и электронах вещества [10-12]. При термализации энергия позитронов падает очень быстро, коэффициент преобразования энергии очень высокий (рисунок 3).

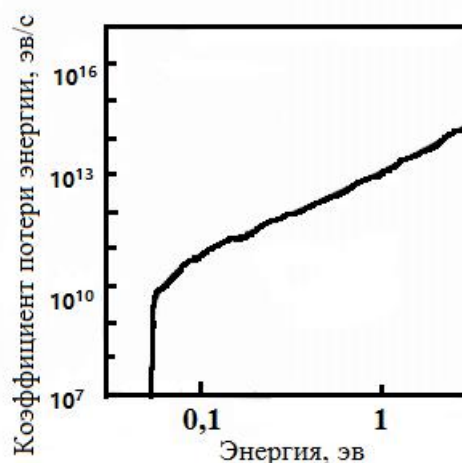


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента потерь энергии от энергии позитрона [13]

Время термализации позитрона зависит от его энергии и структуры материала. В общем случае, считается что, время термализации составляет несколько пикосекунд [5 на 14]. Поскольку средняя величина времени жизни позитронов в металлах около 100 – 200 пикосекунд [15], то процесс термализации составляет лишь малую часть.

Для гомогенного (однородного) образца можно провести теоретический расчёт, профиль торможения позитронов в веществе рассчитывается с использованием математического моделирования по методу Монте-Карло [16-19]. Результирующий имплантационный профиль для гомогенной мишени обычно описывается профилем Махова [11]:

$$p(z) = \frac{mz^{m-1}}{z_0^m} \exp\left[-\left(\frac{z}{z_0}\right)^m\right] \quad (5)$$

где $P(z)$ – это вероятность того, что позитрон проникнет в материал на глубину z ; z – это глубина от поверхности твердого; m – известный параметр формы; z_0 – это константа и зависит от энергии падения позитронного пучка и связана со средней глубиной имплантации \bar{z} соотношением:

$$z_0 = \frac{\bar{z}}{\Gamma\left(\frac{1}{m} + 1\right)} \quad (6)$$

где Γ – это гамма-функция. Из маховского распределения можно получить простой профиль.

Так же можно оценить глубину проникновения позитронов от радиоизотопного источника [20]:

$$P(z) = \alpha e^{-\alpha z} \quad (7)$$

$$\alpha [cm^{-1}] = 17 \frac{\rho}{E_{\max}^{1.43}} \quad (8)$$

где α – это экспериментальная константа; ρ – это плотность материала; E_{\max} – это максимальная энергия позитронов для данного изотопа, $P(z)$ – это вероятность того, что позитрон проникнет в материал на глубину z , она убывает экспоненциально [21]. Среднюю глубину проникновения позитрона в материал можно описать следующей формулой [22]:

$$\int_0^{\infty} z \cdot P(z) dz = \frac{1}{\alpha} \quad (9)$$

Средние глубины проникновения позитронов источника на основе изотопа ^{44}Ti представлены в таблице 2.

Таблице 2 – Средние глубины проникновения позитронов от источника на основе изотопа ^{44}Ti для различных материалов [1]

Материал	Средняя глубина проникновения позитронов, мкм
Fe	136
Ti	236
Zr	164
Cu	120
Ni	120

1.3 Диффузия

Диффузия позитронов – это процесс, при котором позитрон приходит в температурное равновесие с окружающей его средой после термализации и перед аннигиляцией, продолжая свое движение рассеиваясь в основном на фононах решетки. В металлах и сплавах позитроны диффундируют на небольшое расстояние, поскольку, имея положительный заряд, отталкиваются от ядер и с большой вероятностью захватываются дефектами. Часто их движение близко к изотопному и описывается квазиклассической теорией диффузии [13]:

$$\langle l \rangle = \frac{3D_+}{\sqrt{\langle v^2 \rangle}}, \quad (10)$$

$$\langle v^2 \rangle = \frac{3k_B T}{m^*}. \quad (11)$$

где $\langle l \rangle$ – это свободная длина пути позитрона перед столкновением; D_+ – это коэффициент диффузии позитронов, v – это скорость термализованных позитронов; k_B – это константа Больцмана; T – это температура; m^* – это эффективная масса позитрона. Длина диффузии L^+ ограничена временем жизни позитрона в бездефектной решетке τ_b ,

$$L^+ = \sqrt{\tau_b D_+} \quad (12)$$

$$D^+ = \tau_r \frac{k_B T}{m^*} \quad (13)$$

где τ_r – это время релаксации рассеяния; m^* – эффективная масса позитрона. Диффузия позитрона описывается следующим выражением:

$$\frac{\partial}{\partial t} n_+(r, t) = D^+ \nabla^2 n_+(r, t) - \nabla [v_d n_+(r, t)] - \lambda_{eff} n_+(r, t) \quad (14)$$

где n_+ – это плотность позитронов в точке r в время t ; D_+ – это коэффициент диффузии позитронов и выражается как:

$$D_+^{eff} = L_+^2 \lambda_{eff} \quad (15)$$

где λ_{eff} – это эффективный коэффициент аннигиляции:

$$\lambda_{eff} = \frac{1}{\tau_b} + \kappa(r) \quad (16)$$

где $\kappa(r)$ – это скорость захвата позитронов. В стационарном случае:

$$\frac{\partial}{\partial t} n_+(r, t) = 0 \quad (17)$$

Решением данного линейного дифференциального уравнения второго порядка является:

$$0 = D_+ \frac{d^2}{dz^2} n_+(r, t) - \frac{d}{dz} [v_d n_+(r, t)] - \lambda_{eff} n_+(z) \quad (19)$$

Дефекты кристалла также влияют на длину диффузии.

$$L_{eff} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\lambda_{eff}}{D_+} + \left(\frac{eE_{drift}}{2k_B T}\right)^2} - \frac{e|E_{drift}|}{2k_B T}} \quad (20)$$

где E_{drift} – это электрическое поле дрейфа. Средняя длина диффузии позитрона определяется расстоянием от точки термализации позитрона до точки аннигиляции и несет информацию об исследуемой области. Для металлов данное значение лежит в диапазоне 100 – 200 нм [22].

1.4 Захват позитронов и аннигиляция

Позитроны с большой долей вероятности притягиваются и захватываются дефектами. Состояние позитронов, захваченных дефектами, называется локализованным состоянием. Локализованное состояние позитронов более стабильное, чем делокализованное состояние, поскольку имеет меньшую собственную энергию. Переход позитронов из делокализованного состояния в локализованное называется захватом позитронов. Энергия захвата позитронов представляет собой разность между этими состояниями. Захват позитронов имеет два предельных случая:

1. Режим ограниченной диффузии, в этом случае, процесс захвата определяется транспортным фактором. транспортный фактор – это движение позитронов в окрестности дефектов. Транспортный фактор превалирует, когда скорость перехода от делокализованного состояния в ловушку большая и концентрация стохастических позитронов в области дефекта мала. Потенциальная яма неглубока и энергия захвата позитронов небольшая ($\approx 0,1$ эВ). Типичный пример, это захват позитронов на границах зерен [23].

2. Режим ограниченного перехода. В этом случае, движение позитронов может быть описано распространением Болховской волны. Ярким примером такого перехода является захват позитронов вакансиями. В случае

ограниченного перехода, связь между состоянием позитронов в образце и спектром времени жизни позитронов определена простой моделью захвата [1].

Движение позитронов описывается распространением Болховской волны [13]. Скорость захвата определяется по закону Ферми:

$$\kappa = \frac{2\pi}{\hbar} \sum_{i,f} P_i M_{if} \delta(E_i - E_f) \quad (21)$$

где p_i – это вероятность начального положения i ; M_{if} – это матрица преобразования между начальным и конечным положением i . Начальное положение – это делокализованное состояние, а конечное положение – это захвата позитронов дефектом. Скорость захвата пропорциональна концентрации дефектов: скорость захвата отличается в двух режимах и описывается следующим выражением

$$\kappa_{il} = \mu C, \quad (22)$$

$$\kappa_{dl} = 4\pi r_d D_+ C. \quad (23)$$

где κ_{il} – это скорость захвата ограниченного перехода; κ_{dl} – это скорость захвата ограниченной диффузии; C – это концентрация дефектов; μ – это коэффициент захвата.

2 Цифровой модуль спектрометрии по времени жизни позитронов

2.1 Спектрометрия по времени жизни позитронов

Время жизни позитронов является функцией плотности электронов в месте аннигиляции. При этом скорость аннигиляции λ , связана с временем жизни позитронов следующим образом:

$$\lambda = \frac{1}{\tau} = \pi_0 c \int |\varphi^+(r)|^2 n_-(r) \lambda dr \quad (24)$$

где r_0 – это классический радиус электрона; $n_+(r)$ – это плотность позитронов; $n_-(r)$ – это плотность электронов [13]. Электронная структура в бездефектной области и в области дефектов отличается, вследствие этого время жизни позитронов в этих состояниях также отличаются. Например, когда позитроны захвачены вакансией, время жизни увеличится по сравнению с бездефектным кристаллом, так как в вакансии электронная плотность значительно меньше.

Чтобы определить время жизни позитронов в образце нужно зарегистрировать ядерный γ -квант с энергией 1157 кэВ, который испускается практически одновременно с позитроном, как сигнал «старт» и аннигиляционным γ -квант с энергией 511 кэВ как сигнал «стоп». Соответственно временной промежуток между регистрацией сигналов «старт» и «стоп» является временем жизни позитрона. Временная привязка осуществляется с помощью метода следящего порога [24].

Временной спектр аннигиляции позитронов можно записать в виде:

$$D(t) = \sum_{i=1}^{k+4} I_i \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right) \quad (25)$$

где $D(t)$ – это количество позитронов, у которых время жизни составляет t ; I_i – интенсивность соответствующего времени жизни позитронов; τ_i – время жизни позитронов в одном определённом дефекте; k – это количество разных дефектов [13]. $k+4$ связан с тем, что кроме дефектов в спектре присутствуют компоненты аннигиляции в бездефектной области, а также в источнике позитронов (защитная капсула, соль, позитроний).

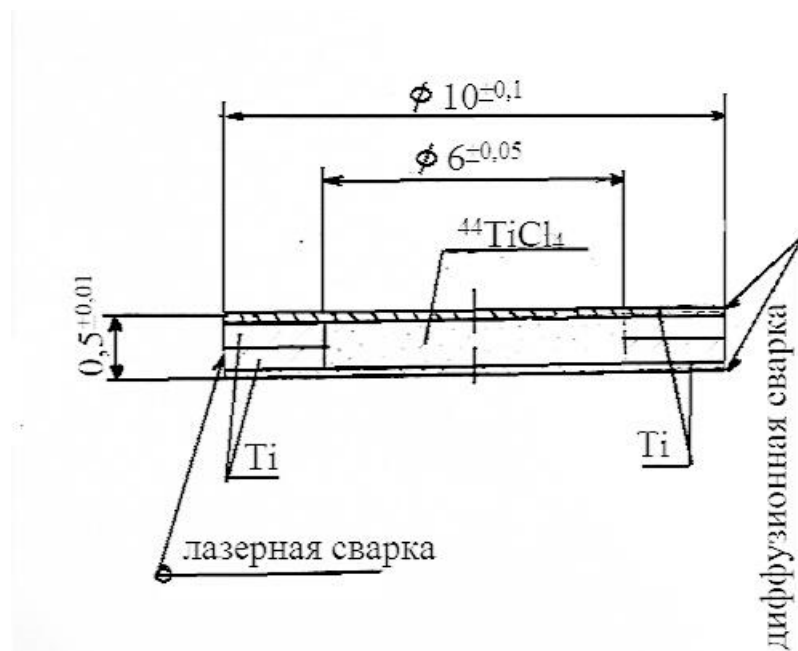


Рисунок 4 – Радиоизотопный источник позитронов на основе изотопа ^{44}Ti ,
изготовленный ЗАО «Циклотрон», г. Обнинск

Поскольку спектрометр обладает конечным разрешением, то спектр также будет содержать функцию разрешения спектрометра. Обычно функцию Гаусса фиксируют как функцию разрешения в точке t_0 :

$$G(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{\pi}} \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\sigma}\right)^2\right] \quad (26)$$

где σ – это параметр функции Гаусса, характеризующий стандартное отклонение; t_0 – это среднее значение времени. Конечный спектр будет сверткой этих двух функций:

$$D(t) = \int_{-\infty}^{\infty} D(t-t')G(t')dt' = \sum_{i=1}^{k+4} \frac{I_i}{2} \exp\left[-\frac{t-t_0 - \frac{\sigma_s^2}{4\tau_i}}{\tau_i}\right] \left[1 - \operatorname{erf}\left(\frac{1}{2\sigma_s\tau_i} - \frac{t-t_0}{\sigma_s}\right)\right] \quad (27)$$

Для определения времени жизни позитронов используется специализированное программное обеспечение, аппроксимирующее

экспериментальный спектр для определения функции разрешения, временных компонент и их интенсивностей [4].

2.2 Схема и описание цифрового модуля

Теория реализации метода электрон-позитронной аннигиляции подробно описана в серии работ сотрудников лаборатории физической химии Института теоретической и экспериментальной физики (ИТЭФ) [25-29].

В данной работе использован цифровой спектрометрический модуль временного распределения аннигиляции позитронов ранее разработанный на кафедре общей физики ФТИ ТПУ [1]. Данный модуль был модернизирован для повышения эффективности обработки сигналов. Основной недостаток полностью цифрового модуля – это большое количество фоновых событий в спектрах, что повышает время их обработки и размер файла. Для устранения этого недостатка использована система внешней синхронизации, которая проводит предварительный отбор сигналов и формирует управляющий импульс, поступающий на вход триггера дигитайзера. Таким образом, дигитайзер обрабатывает только полезные события, связанные с аннигиляцией позитронов и не обрабатывает сигналы от случайных совпадений от регистрации фотонов от радиоактивного распада. Принципиальная схема данной системы представлена на рисунке 5.

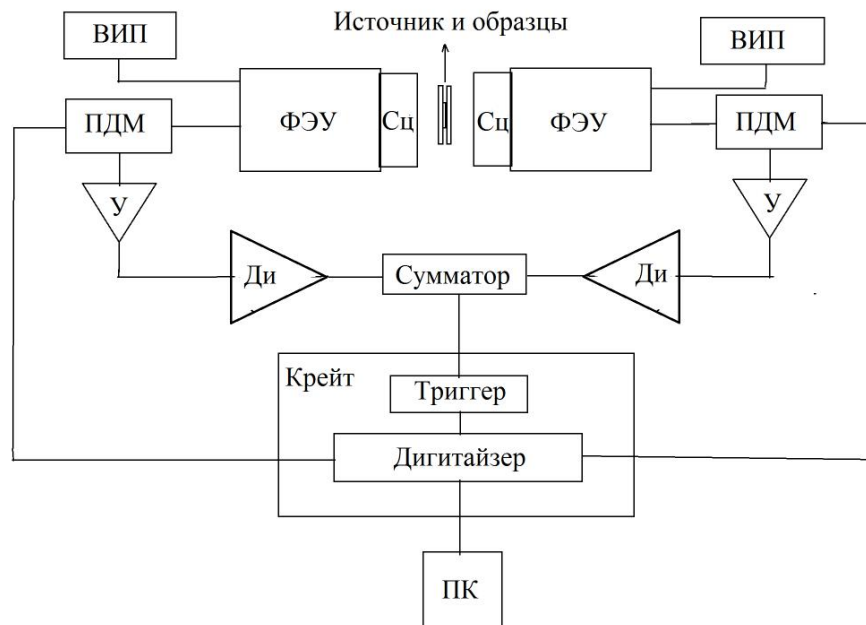


Рисунок 5 – Принципиальная схема цифрового модуля спектрометрии временного распределения аннигиляции позитронов с системой внешней синхронизации: ВИП – высоковольтный источник питания, ПК – персональный компьютер, У – усилитель сигналов, ФЭУ – фотоэлектронный умножитель, Сц – сцинтиллятор, Ди – дискриминаатор. ПДМ – пассивный делитель мощности.

Для получения временно информации используется высокоскоростной дигитайзер (дискретизатор). Данный модуль позволяют осуществлять высокоскоростной и многоканальный сбор сигналов с последующей обработкой. В данной системе также используются радиоактивный источник позитронов на основе изотопа ^{44}Ti , сцинтилляционные детекторы на основе фотоэлектронных умножителей Hamamatsu 3378-50 и сцинтилляторов BaF_2 , низкофоновых усилителей сигналов, сумматора, на основе которого изготовлена пассивная схема совпадения.

Регистрация γ -квантов осуществляется сцинтилляционными детекторами. В данном устройстве сцинтиллятора используется кристалл

фторида бария BaF_2 цилиндрической формы, толщиной 25 мм и диаметром 30 мм. Основные характеристики представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Основные характеристики сцинтиллятора кристалл фторида бария BaF_2 [31]

Характеристики	Значение
Плотность	4,9 г/см ²
Световой выход	1430 фотон/Мэв
Энергическое разрешение (при 662 Кэв)	10%
Длина волны свечения	220 нм
Время затухания	0,6 нс

Данный кристалл, совмещен с быстрым фотоэлектронным умножителем фирмы Hamamatsu модели H3378–50. ФЭУ H3378–50 имеет встроенный делитель и алюминиевый корпус с магнитной защитой. Основные характеристики ФЭУ H3378–50 приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Основные характеристики ФЭУ Hamamatsu H3378–50 [32]

Заводской номер модели	H3378–50
Тип	Быстрый ФЭУ
Размер	51 мм
Пиковая длина волны	420 нм
Пиковая излучательная чувствительность	80 мА/В
Минимальная длина волны	160 нм
Максимальная длина волны	650 нм
Чувствительность фотокатода к световому потоку	80 мкА/лм
Коэффициент усиления	$2,5 \cdot 10^6$
Темновой ток	100 мВ
Время нарастания сигнала	0,7 нс

Питание детекторов – это два высоковольтного источника питания фирмы Canberra Industries, Inc. модель 3002D. Выходное напряжение находится в диапазоне от 0 до 3000 В. В данном модуле система преобразования аналоговых сигналов состоит из следующих компонентов [1]:

1. Дигитайзер с 10–битным 2–х каналом и шиной cPCI, максимальная частота дискретизации – 8 Гвыб./с, используется модель U1065A–002 фирмы Agilent Technologies.

2. Медный кабель с длиной 0,1 м, скорость передачи информации – 110 Мбайт/с, используется модель U1091AK03 фирмы Agilent Technologies. Интерфейс cPCI/PCI.

3. Крейт для интерфейса cPCI и используется модель U1091AC30 фирмы Agilent Technologies.

4. Персональный компьютер.

Система внешней синхронизации состоит из двух пассивных делителей и быстрых интегральных дискриминатора постоянной составляющей модели Canberra 2126 (ДПС). Сигналы детекторов (СД) разделяются с отношением $\sqrt{2}$. Сигнал с большей амплитудой направляется на дигитайзер для дальнейшей обработки при появлении управляющего сигнала на входе внешнего триггера. Сигнал с меньшей амплитудой подается на интегральные ДПС для предварительной селекции, порог дискриминации устанавливается несколько ниже энергии 511 кэВ для устранения влияния низкоэнергетических квантов от распада ^{44}Ti . Затем сигналы поступают на сумматор, откуда суммированный импульс попадает на вход внешнего триггера дигитайзера на котором установлен порог, чтобы отсеивались сигналы с суммарной амплитудой меньше чем 500 мВ.

Управление данным цифровым спектрометрическим модулем осуществляется с помощью программного обеспечения, основа которого разработана позитронной группой Карлова университета, г. Прага, Чехия [1].



Рисунок 6 – Внешний вид цифрового модуля по распределению времени аннигиляции позитронов (лаборатория НЗ, 3 корпус ТПУ)

2.3 Настройка, сбор и обработка сигналов с детекторов

Управление данным дигитайзером и установка заданных параметров сбора выполняется с помощью программы Dacq. Параметры сбора и сигналов задает управляющий файл `dacq.ini` – текст в кодировке ASCII, строки которого в виде «параметр=значение», где «значение» – это число в строковом формате. Некоторые важные параметры программы Dacq рассмотрены ниже:
`Waveforms=10000`. Число событий в одной сессии.
`Samples=2000`. Число точек, составляющих один импульс.
`Sessions=10`. Количество сессий [1].

После настройки дигитайзера, нужно проверять корректности настройки основа на заданных параметрах. Сборка сигналов осуществляется в несколько сессий, что позволяет скорректировать нестабильности системы и

возможные смещения, которые во время измерений могут иметь место. Если настройка корректная, то осуществляется многоканальный сбор сигналов.

Когда число событий во внутренней памяти дигитайзера достигает значения параметра, происходит процесс передачи накопленных данных в оперативную память персонального компьютера. После того, как число событий в оперативной памяти достигает значения параметра `waveforms`, происходит передача и сохранение накопленных данных на жесткий диск или сетевое хранилище. После завершения процесса набора всех сессий, все параметры сбора записываются в файл `"name.ptc"`, где `name` – путь файла для записи, указанный в `dasqn.ini`

Временное распределение аннигиляции позитронов формируется в результате аппроксимации гистограммы распределения временной разности между записанными сигналами. Поскольку в цифровой схеме нет разделения на детектор «Старт» и детектор «Стоп», как в традиционных аналоговых спектрометрах, программное обеспечение работает в двух режимах «прямой» и «обратный» при каждом запуске спектрометра формируются два временных спектра аннигиляции позитронов:

1. Прямой – Детектор 1 – «Старт», Детектор 2 – «Стоп»;
2. Обратный – Детектор 1 – «Стоп», Детектор 2 – «Старт» .

Настройка управляющих параметров осуществляется с помощью входных файлов `FixedParams.dat` и `VariableParams.dat`, которые являются файлами в кодировке ANSI, каждая строка этих файлов тоже имеет вид: «значение=параметр». Некоторые важные управляющие параметры:

`WiIntL` – нижний предел допустимых энергий для сигнала, для каждого канала в отдельности;

WiIntU – верхний предел допустимых энергий для сигнала, для каждого канала в отдельности;

CFi – коэффициент, используемый для временной привязки сигнала.

На рисунке 7 представлены импульсы от сцинтилляционных детекторов, после обработки программой Dacqn.

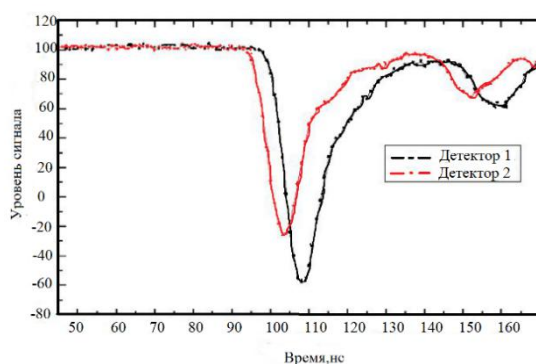


Рисунок 7 – Импульсы от сцинтилляционных детекторов, после обработки программой Dacqn [1].

Для калибровки по энергии используются энергетические спектры с обоих каналов. Берется скользящая сумма от каждого импульса и формируется интегральный импульс. Максимальное значение сформированного интегрального импульса пропорционально энергии детектируемого γ -кванта. Далее устанавливаются амплитудные окна для сигналов «старт» и «стоп» через управляющие параметры WiIntL и WiIntU. Для получения временной информации используется интегральный метод следящего порога (iCF – integrated constant fracture).

После осуществления временной привязки и амплитудной селекции, и аппроксимации временной гистограммы формируется спектр временного распределения аннигиляции позитронов. Дальнейшая обработка осуществляется стандартными программными продуктами для анализа

временного распределения аннигиляции позитронов LT 10. Программа LT10 основана на нелинейном методе наименьших квадратов.

При анализе временных распределений, учитывая разрешение установки аннигиляцию позитронов в радиоактивном источнике, спектр $N(t)$ разлагают на сумму i экспоненциальных членов, характеризующихся константой распада (скорость аннигиляции λ_i обратной времени жизни τ) и относительной интенсивностью I_i : Спектры обрабатываются на основе мульти экспоненциальной модели. В данной модели присутствуют четыре временные компоненты $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ и их интенсивности I_1, I_2, I_3, I_4 . Так как временной спектр является сверткой функции Гаусса и суперпозиции экспоненциальных компонент, временное разрешение установки определяется по ширине на полувысоте (FWHM) спектра. Индекс корреляции отражает сходимость теоретической и экспериментальной функции [1].

3 Определение технических характеристик цифрового модуля спектрометрии по времени жизни позитронов

3.1 Подготовка стандартных образцов

Чтобы определить операционное временное разрешение модуля ВРАП и оценки корректности проводимых измерений были подготовлены калибровочные образцы алюминия, железа, никеля, титана, меди, цинка. время жизни позитронов достаточно хорошо изучено теоретическими и экспериментальными методами. Образцы вырезаны с размерами $30 \times 30 \times 1$ мм. Поверхность образцов отшлифована на шлифовальной бумаге $600 \times 1500 \times 2000$ и отполирована. Чтобы удалить дефекты и снять внутренние напряжения, образцы отожжены в вакууме при высокой температуре на установке Gas Reaction Controller LPB. В таблице 5 представлены которые параметры для отжига каждого образца.

Таблица 5 – Параметры для отжига стандартных образцов

образец	Время отжига на установке, час	Температура отжига на установке, К
Алюминий	1	773
Титан	2	1173
Железо	2	1173
Никель	2	1173
Медь	2	1123
Цинк	1	523

3.2 Результаты обработки спектров временного распределения аннигиляции позитронов на стандартных образцах

Для калибровки спектрометрического модуля спектрометрии временного распределения аннигиляции позитронов были набраны 3 серии спектров для каждого материала для двух режимов работы спектрометра, прямого и обратного. Спектры временного распределения аннигиляции позитронов в титане для двух режимов работы представлены рисунке 8.

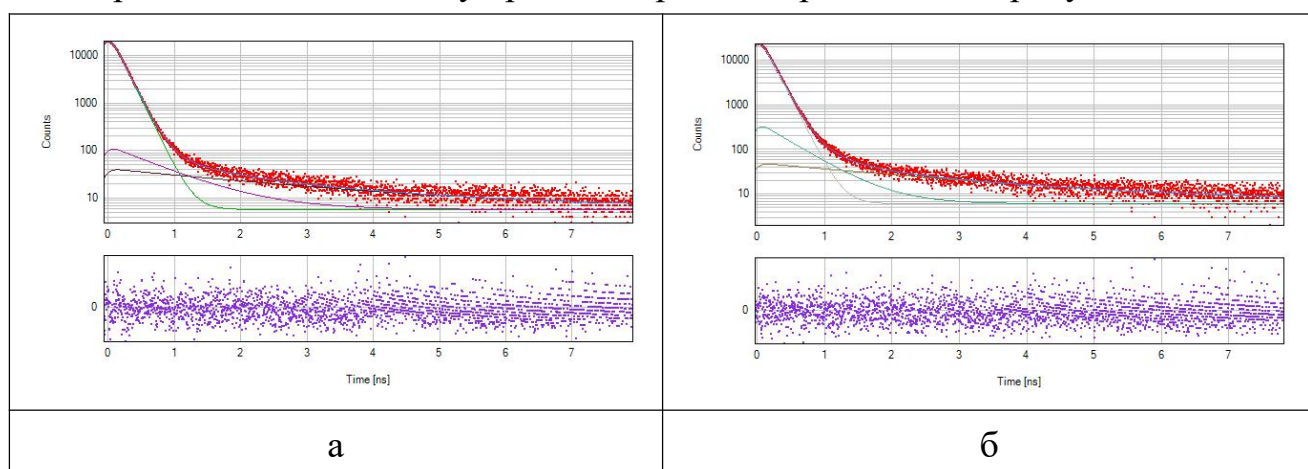


Рисунок 8 – Спектр временного распределения аннигиляции позитронов в титане в прямом (а) и обратном режиме (б)

Результаты обработки спектров представлены в таблицах 6-8. Индексы _п и _о после материала означают прямой и обратный режим работы спектрометра, соответственно.

Таблица 6 – Параметры разложения спектров временного распределения аннигиляции позитронов в титане для различных режимов работы спектрометра.

Образец			
Спектр	χ^2	τ , нс	Погрешность, нс
Титан_п	1,043	0,1507	0,0002
Титан_о	1,019	0,1476	0,0001

Таблица 7 – Компоненты вклада источника в спектров временного распределения аннигиляции позитронов в титане для различных режимов работы спектрометра, Интен – интенсивность, Погреш – погрешность

Источник						
Спектр	Интен	τ_1 , нс	Погреш, нс	Интен	τ_2 , нс	Погреш, нс
Титан_п	45%	0,529	0,008	55%	2,10	0,05
Титан_о	63%	0,479	0,007	37%	2,79	0,07

Таблица 8 –Компоненты функции разрешения спектрометра в спектрах временного распределения аннигиляции позитронов в титане для различных режимов работы. Интен – интенсивность, Пог – погрешность, ПШПВ – половина ширины на половине высоты

Разрешение

Спектр	Интен	ПШПВ1, нс	Пог, нс	Интен	ПШПВ2, нс	Пог, нс
Титан_п	50%	0,200	0,004	50%	0,124	0,002
Титан_о	50%	0,192	0,006	50%	0,136	0,007

Из таблиц 6-8 видно, что время жизни позитронов в двух режимах несколько отличаются. В прямом режиме получено значение – $0,1507 \pm 0,0002$ нс. В обратном режиме – $0,1476 \pm 0,0001$ нс. Среднее значение составило $0,149 \pm 0,002$ нс, что хорошо согласуется с теоретическими и экспериментальными данными о времени жизни позитронов в бездефектном титане.

Функции разрешения спектрометра для прямого и обратного режимов также незначительно отличаются, в прямом режиме получено разрешение – $0,162 \pm 0,004$ нс, а в обратном – $0,159 \pm 0,007$ нс. Среднее значение – $0,160 \pm 0,007$ нс.

Спектры временного распределения аннигиляции позитронов в железе для двух режимов работы представлены рисунке 9.

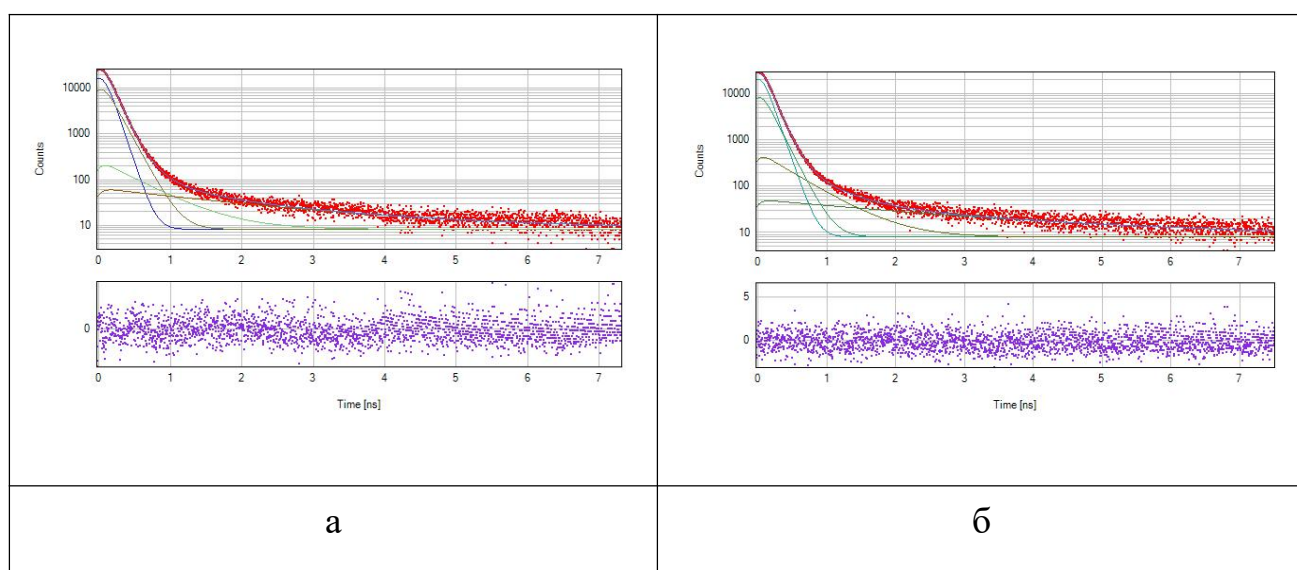


Рисунок 9 – Спектр временного распределения аннигиляции позитронов в железе в прямом (а) и обратном режиме (б)

Результаты обработки спектров представлены в таблицах 9-11. Индексы _п и _о после материала означают прямой и обратный режим работы спектрометра, соответственно.

Таблица 9 – Параметры разложения спектров временного распределения аннигиляции позитронов в железе для различных режимов работы спектрометра.

Образец			
Спектр	χ^2	τ , нс	Погрешность, нс
Железо_п	1,041	0,092	0,002
Железо_о	1,034	0,100	0,002

Таблица 10 – Компоненты вклада источника в спектров временного распределения аннигиляции позитронов в железе для различных режимов работы спектрометра, Интен – интенсивность, Пог – погрешность

Источник								
Спектр	Интен	τ_1 , нс	Интен	Пог	τ_2 , нс	Интен	Пог	τ_3 , нс
Железо_п	92%	0,150	4%	1%	0,502	3%	1%	2,10
Железо_о	87%	0,147	10%	1%	0,478	4%	1%	2,79

Таблица 11 – Компоненты функции разрешения спектрометра в спектрах временного распределения аннигиляции позитронов в железе для различных режимов работы. Интен – интенсивность, Пог – погрешность, ПШПВ – половина ширины на половине высоты

Разрешение						
Спектр	Интен	ПШПВ1, нс	Пог, нс	Интен	ПШПВ2, нс	Пог, нс
Железо_п	50%	0,207	0,007	50%	0,136	0,004
Железо_о	50%	0,194	0,006	50%	0,139	0,009

Из таблиц 9-11 видно, что время жизни позитронов в двух режимах несколько отличаются. В прямом режиме получено значение – $0,092 \pm 0,002$ нс. В обратном режиме – $0,100 \pm 0,002$ нс. Среднее значение составило $0,096 \pm 0,004$ нс, что хорошо согласуется с теоретическими и экспериментальными данными о времени жизни позитронов в бездефектном железе.

Функции разрешения спектрометра для прямого и обратного режимов также незначительно отличаются, в прямом режиме получено разрешение – $0,172 \pm 0,007$ нс, а в обратном – $0,167 \pm 0,009$ нс. Среднее значение – $0,169 \pm 0,009$ нс.

Спектры временного распределения аннигиляции позитронов в алюминии для двух режимов работы представлены рисунке 10.

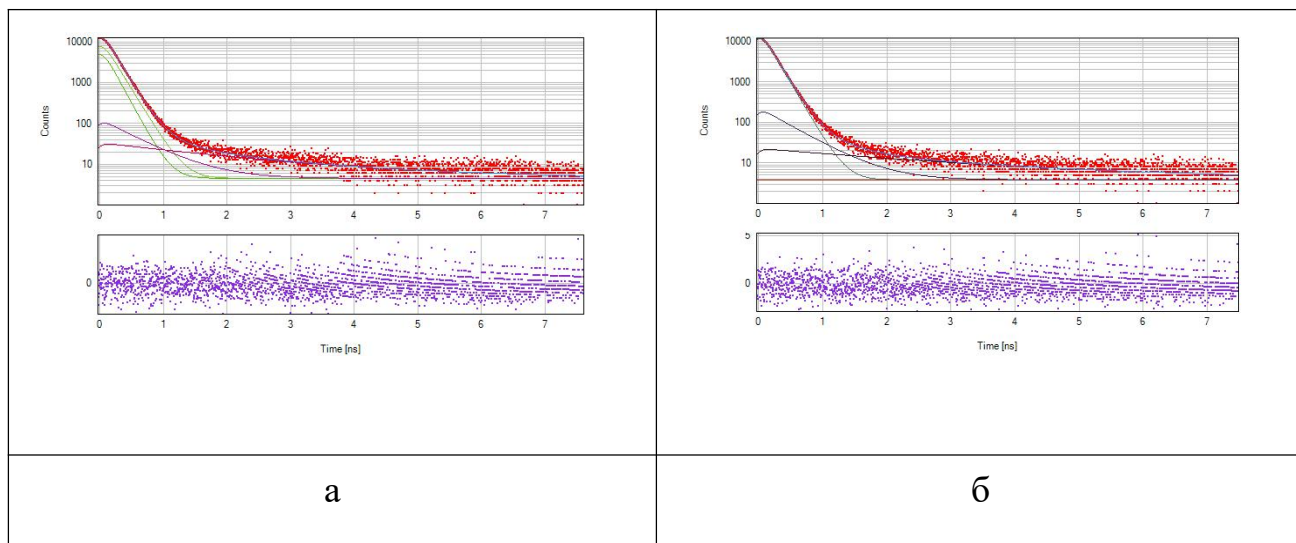


Рисунок 10 – Спектр временного распределения аннигиляции позитронов в алюминии в прямом (а) и обратном режиме (б)

Результаты обработки спектров представлены в таблицах 12-14. Индексы _п и _о после материала означают прямой и обратный режим работы спектрометра, соответственно.

Таблица 12 – Параметры разложения спектров временного распределения аннигиляции позитронов в алюминии для различных режимов работы спектрометра.

Образец			
Спектр	χ^2	τ , нс	Погрешность, нс
Алюминий_п	1,021	0,1680	0,0003
Алюминий_о	1,025	0,1680	0,0002

Таблица 13 – Компоненты вклада источника в спектров временного распределения аннигиляции позитронов в алюминии для различных режимов работы спектрометра, Интен – интенсивность, Пог – погрешность

Источник

Спектр	Интен	τ_1 , нс	Интен	Пог	τ_2 , нс	Интен	Пог	τ_3 , нс
Алюминий_п	84%	0,150	7%	1%	0,502	8%	1%	2,10
Алюминий_о	88%	0,147	8%	1%	0,478	4%	1%	2,79

Таблица 14 – Компоненты функции разрешения спектрометра в спектрах временного распределения аннигиляции позитронов в алюминии для различных режимов работы. Интен – интенсивность, Пог – погрешность, ПШПВ – половина ширины на половине высоты

Разрешение						
Спектр	Интен	ПШПВ1, нс	Пог, нс	Интен	ПШПВ2, нс	Пог, нс
Алюминий_п	50%	0,219	0,003	50%	0,131	0,002
Алюминий_о	50%	0,135	0,006	50%	0,200	0,005

Из таблиц 12-14 видно, что время жизни позитронов в двух режимах не отличаются. В прямом режиме получено значение – $0,168 \pm 0,002$ нс. В обратном режиме – $0,168 \pm 0,002$ нс. Среднее значение составило $0,168 \pm 0,003$ нс, что хорошо согласуется с теоретическими и экспериментальными данными о времени жизни позитронов в бездефектном алюминии.

Функции разрешения спектрометра для прямого и обратного режимов незначительно отличаются, в прямом режиме получено разрешение – $0,175 \pm 0,003$ нс, а в обратном – $0,168 \pm 0,006$ нс. Среднее значение – $0,172 \pm 0,006$ нс.

Спектры временного распределения аннигиляции позитронов в никеле для двух режимов работы представлены рисунке 11.

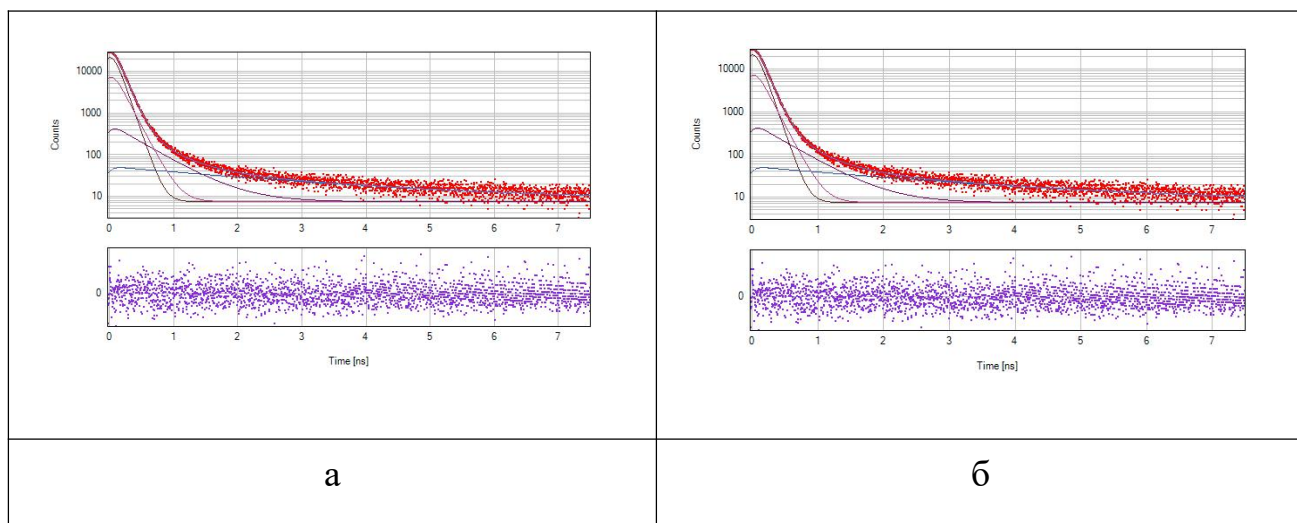


Рисунок 11– Спектр временного распределения аннигиляции позитронов в никеле в прямом (а) и обратном режиме (б)

Результаты обработки спектров представлены в таблицах 15-17. Индексы _п и _о после материала означают прямой и обратный режим работы спектрометра, соответственно.

Таблица 15 – Параметры разложения спектров временного распределения аннигиляции позитронов в никеле для различных режимов работы спектрометра.

Образец			
Спектр	χ^2	τ , нс	Погрешность, нс
Никель_п	1,036	0,102	0,002
Никель_о	1,012	0,097	0,002

Таблица16 – Компоненты вклада источника в спектров временного распределения аннигиляции позитронов в никеле для различных режимов работы спектрометра, Интен – интенсивность, Погреш – погрешность

Источник								
Спектр	Инте	τ_1 , нс	Интен	Погреш	τ_2 , нс	Интен	Погреш	τ_3 , нс

	Н							
Никель_п	89%	0,150	7%	1%	0.502	4%	1%	2.10
Никель_о	85%	0,147	9%	1%	0,478	4%	1%	2,79

Таблица 17 – Компоненты функции разрешения спектрометра в спектрах временного распределения аннигиляции позитронов в никеле для различных режимов работы. Интен – интенсивность, Пог – погрешность, ПШПВ – половина ширины на половине высоты

Разрешение						
Спектр	Интен	ПШПВ1, нс	Пог, нс	Интен	ПШПВ2, нс	Пог, нс
Никель_п	50%	0,185	0,004	50%	0,116	0,003
Никель_о	50%	0,149	0,004	50%	0,206	0,008

Из таблиц 15-17 видно, что время жизни позитронов в двух режимах несколько отличаются. В прямом режиме получено значение – $0,102 \pm 0,002$ нс. В обратном режиме – $0,097 \pm 0,002$ нс. Среднее значение составило $0,099 \pm 0,004$ нс, что хорошо согласуется с теоретическими и экспериментальными данными о времени жизни позитронов в бездефектном никеле.

Функции разрешения спектрометра для прямого и обратного режимов немного отличаются, в прямом режиме получено разрешение – $0,150 \pm 0,007$ нс, а в обратном – $0,175 \pm 0,008$ нс. Среднее значение – $0,169 \pm 0,009$ нс.

Спектры временного распределения аннигиляции позитронов в меди для двух режимов работы представлены рисунке 12.

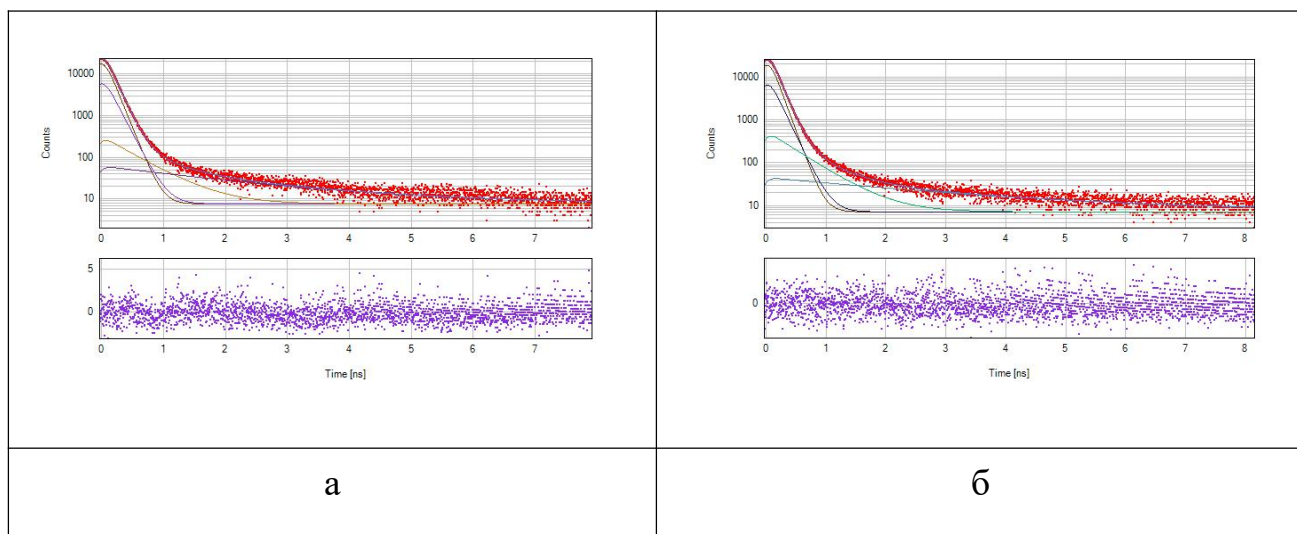


Рисунок 12 – Спектр временного распределения аннигиляции позитронов в меди в прямом (а) и обратном режиме (б)

Результаты обработки спектров представлены в таблицах 18-20. Индексы _п и _о после материала означают прямой и обратный режим работы спектрометра, соответственно.

Таблица 18 – Параметры разложения спектров временного распределения аннигиляции позитронов в меди для различных режимов работы спектрометра

Образец			
Спектр	χ^2	τ , нс	Погрешность, нс
Медь_п	1,022	0,1182	0,0006
Медь_о	1,017	0,1156	0,0001

Таблица 19 – Компоненты вклада источника в спектров временного распределения аннигиляции позитронов в меди для различных режимов работы спектрометра, Интен – интенсивность, Погреш – погрешность

Источник								
Спектр	Интен	τ_1 , нс	Интен	Погреш	τ_2 , нс	Интен	Погреш	τ_3 , нс
Медь_п	86%	0.150	8%	1%	0.502	5%	1%	2,10

Медь_о	85%	0,147	10%	1%	0,478	5%	1%	2,79
--------	-----	-------	-----	----	-------	----	----	------

Таблица 20 – Компоненты функции разрешения спектрометра в спектрах временного распределения аннигиляции позитронов в меди для различных режимов работы. Интен – интенсивность, Пог – погрешность, ПШПВ – половина ширины на половине высоты

Разрешение						
Спектр	Интен	ПШПВ1, нс	Пог, нс	Интен	ПШПВ2, нс	Пог, нс
Медь_п	50%	0,190	0,007	50%	0,126	0,004
Медь_о	50%	0,1370	0,0002	50%	0,1873	0,006

Из таблиц 18-20 видно, что время жизни позитронов в двух режимах несколько отличаются. В прямом режиме получено значение – $0,1182 \pm 0,0006$ нс. В обратном режиме – $0,1156 \pm 0,001$ нс. Среднее значение составило $0,1169 \pm 0,0006$ нс, что хорошо согласуется с теоретическими и экспериментальными данными о времени жизни позитронов в бездефектной меди.

Функции разрешения спектрометра для прямого и обратного режимов немного отличаются, в прямом режиме получено разрешение – $0,151 \pm 0,007$ нс, а в обратном – $0,162 \pm 0,006$ нс. Среднее значение – $0,156 \pm 0,007$ нс.

Спектры временного распределения аннигиляции позитронов в цинке для двух режимов работы представлены рисунке 13.

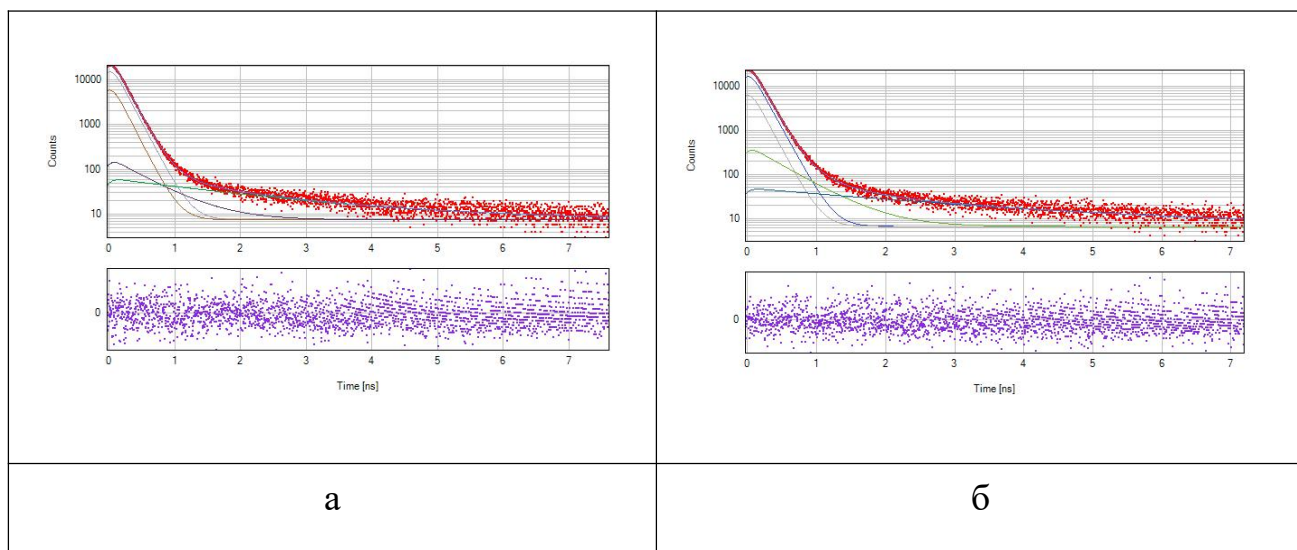


Рисунок 13 – Спектр временного распределения аннигиляции позитронов в цинке в прямом (а) и обратном режиме (б)

Результаты обработки спектров представлены в таблицах 21-23. Индексы _п и _о после материала означают прямой и обратный режим работы спектрометра, соответственно.

Таблица 21 – Параметры разложения спектров временного распределения аннигиляции позитронов в цинке для различных режимов работы спектрометра

Образец			
Спектр	χ^2	τ , нс	Погрешность, нс
Цинк_п	1,032	0,1560	0,0005
Цинк_о	1,008	0,1524	0,0005

Таблица 22 – Компоненты вклада источника в спектрах временного распределения аннигиляции позитронов в цинке для различных режимов работы спектрометра, Интен – интенсивность, Пог – погрешность

Источник								
Спектр	Интен	τ 1, нс	Интен	Пог	τ 2, нс	Интен	Пог	τ 3, нс
Цинк_п	90%	0,150	5%	1%	0,502	5%	0,3%	2,10

Цинк_о	86%	0,147	10%	1%	0,478	4%	1%	2,79
--------	-----	-------	-----	----	-------	----	----	------

Таблица 23 – Компоненты функции разрешения спектрометра в спектрах временного распределения аннигиляции позитронов в цинке для различных режимов работы. Интен – интенсивность, Пог – погрешность, ПШПВ – половина ширины на половине высоты

Разрешение						
Спектр	Интен	ПШПВ1, нс	Пог, нс	Интен	ПШПВ2, нс	Пог, нс
Цинк_п	50%	0,204	0,003	50%	0,123	0,002
Цинк_о	50%	0,202	0,005	50%	0,140	0,004

Из таблиц 21-23 видно, что время жизни позитронов в двух режимах незначительно отличаются. В прямом режиме получено значение – $0,1560 \pm 0,0005$ нс. В обратном режиме – $0,1524 \pm 0,002$ нс. Среднее значение составило $0,1542 \pm 0,0005$ нс, что хорошо согласуется с теоретическими и экспериментальными данными о времени жизни позитронов в бездефектном цинке.

Функции разрешения спектрометра для прямого и обратного режимов немного отличаются, в прямом режиме получено разрешение – $0,163 \pm 0,003$ нс, а в обратном – $0,171 \pm 0,005$ нс. Среднее значение – $0,167 \pm 0,005$ нс.

Таблица 24 – Сравнение теоретических значений времени жизни позитронов в металлах. Теор – теоретические значение [33], Погр – погрешность

Спектр	Прямой, нс	Погр	Обратный, нс	Погр	Теор, нс
Алюминий	0,1680	0,0003	0,168	0,0002	0,1680
Титан	0,1507	0,0002	0,1476	0,0001	0,147
Железо	0,092	0,002	0,100	0,002	0,102
Никель	0,102	0,002	0,97	0,002	0,096

Медь	0,1182	0,0006	0,1156	0,0001	0,108
Цинк	0,1560	0,005	0,1524	0,0005	0,158

В общем результаты хорошо совпадают с теоретическими значениями. Результаты в двух режимах совпадают друг с другом за небольшим отклонением.

3.3 Оценка вклада от источника позитронов

Далее необходимо оценить вклад источника для различных экспериментальных образцов. Для этого все набранные спектры были обработаны в одной серии, причем компоненты вклада источника были частично объединены. Таким образом, с высокой точностью определяются значения временных компонент, характерных для каждого спектра, а именно компоненты от аннигиляции позитронов в защитной капсуле, в соли источника и аннигиляции ортопозитрония в воздушном пространстве между источником и образцами.

Таблица 25 – Временные компоненты от аннигиляции в источнике, τ_1 – время жизни позитронов в защитной титановой капсуле, τ_2 – время жизни позитронов в соли источника ($^{44}\text{TiCl}_4$), τ_3 – время жизни ортопозитрония, Погреш – погрешность

Спектр	τ_1 , нс	Погреш, нс	τ_2 , нс	Погреш, нс	τ_3 , нс	Погреш, нс
Прямой	0,1490	0,0002	0,4156	0,001	2,67	0,02
Обратный	0,1494	0,0002	0,4286	0,001	2,72	0,02

Таблица 26 – Интенсивности временных компонент от аннигиляции в источнике, Интен₁ – интенсивность компоненты аннигиляции в защитной титановой капсуле, τ_2 – интенсивность компоненты аннигиляции в соли

источника ($^{44}\text{TiCl}_4$), τ_3 – интенсивность компоненты аннигиляции ортопозитрония, Интен – интенсивность, Погреш – погрешность

Источник						
Спектр	Интен1	Погреш	Интен2	Погреш	Интен3	Погреш
Прямой	77,82%	0,1%	16,1%	0,1%	6,34%	0,02%
Обратный	78,48	0,1%	15,3%	0,1%	6,20%	0,02%

Вклад источника в различных материалах отличается, получены значения представлены в таблице 27.

Таблица 27 – Вклады источника в разных образцах

Спектр	Прямой	Погрешность	Обратный	Погрешность
Алюминий	21,51%	0,06%	21,68%	0,04
Железо	23,80%	0,05%	23,95%	0,05%
Никель	23,69%	0,03%	23,59%	0,06%
Медь	24,58%	0,08%	24,6%	0,1%
Цинк	23,65%	0,02%	23,62%	0,02%

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Чтобы анализировать потребители результатов данного исследования нужно узнать целевой рынок [35]. Целевой рынок данного устройства – это отрасль, в котором нужно изучить свойства материалов связны с дефектами и исследований дефектной структуры материалов. Например, научно-исследовательские институты и лаборатории.

4.2 Анализ конкурентных технических решений

Чтобы хорошо продаваться данное исследование необходимо систематически сравнить данную разработку с теми, решениями, которые сейчас применяются в науке – метод измерения удельное сопротивление и ультразвуковая дефектоскопия. Так как рынки в постоянном движении пребывают. Данный анализ помогает вносить в научное исследование коррективы и успешнее противостоять своим соперникам. Анализ конкурентных технических решений позволяет провести оценку эффективности научной разработки и узнать направление ее будущего повышения.

В данном случае конкурентные технические решения – это ультразвуковой детектор и метод по измерению сопротивления. ультразвуковой детектор – это устройство, которое измеряет дефекты через отражение ультразвукового сигнала. метод по измерению сопротивления основан на принципе, что рассеяние на дефекты приводит к увеличению сопротивления. K1 – метод по измерению сопротивления при разных температурах. K2 – это ультразвуковой детектор. Целесообразный анализ проведён с помощью оценочной карты в таблица 28.

Таблица 28 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки							
1. Точность	0,05	5	5	3	0,25	0,25	0,15
2. Простота в эксплуатации	0,05	4	4	5	0,2	0,2	0,25
3. Устойчивость	0,05	3	3	4	0,15	0,15	0,2
4. Экономичность энергии	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2
5. Уровень шума	0,05	3	2	5	0,15	0,1	0,25
6. Достоверность	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
7. Безопасность	0,05	4	3	5	0,2	0,15	0,25
8. Зависимость от ресурсов памяти	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
9. Простота интерфейса	0,05	5	4	2	0,25	0,2	0,1
10. Мощность	0,05	4	4	5	0,2	0,2	0,25
11. Качество программного интерфейса	0,05	5	5	3	0,25	0,25	0,25
12. Чувствительность	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,25
Экономические критерии оценки							
1. Привлекательная способность	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
2. Процент заполнения рынка	0,05	4	4	5	0,2	0,2	0,25
3. Цена	0,05	4	3	5	0,2	0,15	0,25
4. время обслуживания	0,05	5	5	3	0,25	0,25	0,15
5. Требование квалификации к персоналу	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
6. Финансовая подготовка	0,05	5	5	2	0,25	0,25	0,10
7. Время подготовки	0,05	4	3	5	0,2	0,15	0,25
8. Наличие государственного приплаты	0,05	5	5	3	0,25	0,25	0,15
Итого	1	88	78	78	4,4	3,90	3,90

Типичные критерии для оценки и сравнения ресурсосбережения и ресурсоэффективности, приведенные в таблице. 1, сравнения исходя из выбранных объектов с учетом их экономических и технических особенностей разработки, эксплуатации и создания [35]. 5 – наиболее сильная, а 1 – наиболее

слабая позиция. экспертным путем определяемые веса показателей. Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (28)$$

где K – конкурентоспособность данного конкурента;

B_i – вес показателя;

B_i – балл i -го показателя.

Основываясь на знаниях о конкурентах получено: безопасностью и уровень шума обусловлена уязвимость позиции конкурента 1 и достоверностью обусловлена уязвимость позиции конкурента 2. Соответственно у данного прибора многие достоинства, например, точность и чувствительность. Итогом данного анализа, данный метод. Экономические критерии оценки эффективности по многим факторам также превосходят своих конкурентов. Имея рядом преимуществ перед конкурирующими товарами, данный метод обладает высоким уровнем конкурентоспособности и качества при обычном наборе параметров [36].

4.3 SWOT – анализ

- **SWOT** – это комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ широко применяется при исследовании внешней и внутренней среды данного проекта. Сильные стороны – это факторы, которые характеризуют конкурентоспособную сторону данного проекта. По сравнению с конкурентами мы имеем очень высокие точность и чувствительность, участники данного проекта умеют анализировать полученные результаты с помощью математических методов лучше всех. Слабость – это ограниченность данного проекта, препятствующие достижению его целей. Соответственно

простота интерфейса делается плохо. Прямого контакта с источника следует избегать. Возможности я вижу на рынке возможности проникновения в рыке с помощью высокой точности. Благоприятные рыночные возможности состоят в том, что с развитием промышленного общества в рынке требуют материалов, выполняющих определённые условия. Соответственно данный метод даёт возможность исследовать свойства материалов. Отмечены тенденции повышения точности исследования свойства материалов. Угроза – это любая нежелательная ситуация, тенденция или изменение, имеющие разрушительный или угрожающий характер для конкурентоспособности данного проекта в настоящем или будущем времени. При использовании данного приборе нужно радиоактивная защита, которое могут вредить проникновению рынка данного научно-исследовательского проект.

Таблица 29 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: Высокая точность, Наличие бюджетного финансирования.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Более высокая стоимость производства. .
Возможности: метод даёт возможность исследовать свойства материалов.	Чтобы усилить сильные стороны нужно ещё оптимизировать скорость сбора сигналов.	Можно использовать данную возможность в создании более устойчивые материалы
Угрозы: Нужно радиоактивная защита	Чтобы устранить угроз нужно поставить соответственные правила и устройства для защиты от радиоактивного излучения и тренировать квалифицированного персонала	Чтобы снизить стоимость нужно принять более дешёвые детекторы после производства новых детекторов.

4.4 Планирование научно-исследовательских работ

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, по каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей [35]. Планирование данного проекта представлено в следующей таблице.

Таблица 30 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

Основные этапы данного этапа	№ раб	Содержание конкретных работ	Исполнители
Разработка технического задания	1	Составление и выдачи технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор литературы по теме	Научный руководитель
	3	Выбор конкретного направления исследования	Научный руководитель
	4	Планирование календаря проекта	Научный руководитель
Теоретические исследования	5	Проведение теоретических изучений литературы	Студент
экспериментальные исследования	6	Подготовить образцы	Студент
	7	Настроить и оптимизировать прибор	Научный руководитель
	8	Измерять время жизни позитронов в образцах	Студент
			Научный руководитель
Разработки результатов	9	Построить спектр для каждого образца	Студент

	10	Обсуждение результатов	Научный руководитель
			Студент
Оформление отчета	11	Составление отчёта по данному эксперименту	Студент
	12	Проверка отчёта	Научный руководитель

Для определения среднего значения трудоемкости $t_{ожи}$ используется следующая формула:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (29)$$

где $t_{ожи}$ – это ожидаемая трудоемкость чел.-дн;

$t_{\min i}$ – это минимально возможная трудоемкость чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость [1].

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i}, \quad (30)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.;

$t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн. При выполнении дипломных работ студент в основном становится участником.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (31)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности. Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = 1,22, \quad (32)$$

где – это количество календарных дней в году и составляет 365;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году и составляет 52;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году и составляет 14. Получено, что

$k_{\text{кал}} = 1,22$. Все рассчитанные значения представлены в таблице 31.

Таблица 31 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						T_{pi}	T_{ki}		
	$t_{\min},$ чел-дни		$t_{\max},$ чел-дни		$t_{\text{о.ж}i}$ чел-дни					
	Научный руководитель	Студент	Научный	Студент	Научный	Студент				Научный
Разработка технического задания	1		3		2		2		2	
Выбор направления исследования	1		3		2		2		2	

Теоретические исследования		20		30		24		24		30
экспериментальные исследования		30		40		34		34		41
Разработки результатов	2	10	3	15	2	12	12		2	15
Оформление отчета	2	14	4	20	3	16	3	16	4	20
Итого	6	74	13	105	10	86	15	74	10	106

Календарный план-график представлен в таблице 32.

Таблица 32 – Календарный план-график проведения данного проекта

№ раб от	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				февр.		март			апрель			май			июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Разработка техническог о задания	Научный руководитель	2	☒												
2	Выбор направлени я исследовани й	Научный руководитель	2	☒												

$$З_{\text{м}} = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (33)$$

где m – количество видов материальных ресурсов;

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, (шт., кг, м, м² и т.д.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 33.

Таблица 33 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Алюминий	штук	2	100	200
Железа	штук	2	110	220
Никель	штук	2	900	1800
Титан	штук	2	740	1480
Медь	штук	2	230	460
Цинк	штук	2	240	480
Наждачная бумага	М ²	2	400	800
Резиновые перчатки	штук	10	20	200
Итого	3950			

Таблица 34 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№	Наименование	Количество	Цена	Общая стоимость
---	--------------	------------	------	-----------------

п/п	оборудования	оборудования	оборудования, руб.	я, руб.
1.	Детектор сигналов	2	750000	1500000
2.	Крейт	1	500000	500000
3	Дигейзер	1	2500000	2500000
4	Компьютер	1	30000	30000
5	Источник позитронов	1	500000	500000
Итого:				5030000

Оборудование можно использовать 10 лет, соответственно амортизацию на оборудование каждого года составляет 503000. Длительность данного проекта составляет 41 дней и соответственно затраты равны $503000 \times 41 / 365 = 56501$.

Основная заработная плата руководителя университета (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (34)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного исполнителя;

T_p – продолжительность работ, раб. дн.;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб. Для руководителя и бакалавра считается отдельно. (Бакалавр берет заработную плату как младший научный сотрудник 1-го уровня)

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (35)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн..

Таблица 35 – Рабочее время для руководителя и студента.

Показатели времени		Руководитель	Студент
Общее число дней		365	365
Количество нерабочих дней	праздничные дни	14	14
	выходные дни	52	52
отпуск		48	48
Действительное число рабочего времени		251	251

Таблица 36– Расчёт основной заработной платы

Показатель	З _{тс} , руб.	k _д	k _{пр}	k _р	З _м , руб	T _р , раб. дн.	З _{дн} , руб.	З _{осн} , руб.
Студент	9893	0,201	0,299	1,299	19291	106	796	84376
Руководитель	20800	0,201	0,299	1,3	40560	10	1681	16810

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%¹.

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представлять в табличной форме (табл. 37).

Таблица 37 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная
-------------	----------

¹ Федеральный закон от 24.07.2009 №212-ФЗ «О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования»

	заработная плата, руб.
Руководитель проекта	16810
Студент-дипломник	84376
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271
Итого:	27421

В данном случае мощность устройство – 6,62 кВт, время использования в общем составляет $24 \times 41 = 984$ часов. Соответственно $984 \times 6,62 = 6514$ кВт*час. Общие затраты на электроэнергию составляют $6514 \times 5,8 = 37781$ руб.

Величина накладных расходов определяется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (36)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы и равен 16%.

Таблица 38 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование затрат	Стоимость, руб.
1. Материальные затраты НТИ	5940
2. Затраты на амаорцию пециального оборудования	56501
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	101186
4. Отчисления во внебюджетные фонды	31534
5. Накладные расходы	37781
6. Бюджет затрат НТИ	232932

5 Социальная ответственность

5.1 Производственная безопасность

Данная работа посвящена настройке и калибровке цифрового модуля спектрометрии по времени жизни позитронов. Позитронная спектроскопия имеет весьма высокую точность в исследовании дефектов в металл-водороде и металл влияет на распределение, качество и виды дефектов, и это влияет на свойства металла, из вышесказанного вытекает актуальность работы. Цель - настроить и калибровать цифровой модуль спектрометрии по времени жизни позитронов. В данном исследовании использованные приборы – это позитронный спектрометр и установка Gas Reaction Controller. Установка Gas Reaction Controller используется для получения исходных образцов с помощью отжига при высокой температуре. Потом измерять времени жизни в исходных образцах с помощью позитронного спектрометра. В данном разделе главным образом представлены анализ о безопасности помещения проведения исследования, установки Gas Reaction Controller и позитронного спектрометра и соответственно анализ о защите вредных и опасных факторов.

Техногенная безопасность работы установки спектрометра ЭПА и Gas Reaction Controller при проведении работ возможно возникает воздействие вредных факторов таких, как:

- 1) электромагнитные поля;
- 2) микроклимат;
- 3) радиоактивное излучение;
- 4) шум;
- 5) Освещение.

возможно воздействие следующих опасных факторов:

- 1) электрическое напряжение;

2) воздействие высокой температуры;

Данный проект выполнен в подвале третьего корпуса ТПУ. Помещение относится к классу помещений без повышенной опасности. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03, расстояние между рабочими столами оборудованными мониторами, равно 2 м, и расстояние между боковыми поверхностями мониторов равно 1,2 м [37]. В рассматриваемом помещении данные требования не выполняются, так как расстояние между рабочими столами порядка 0,5 м или же отсутствует вовсе. Расстояние между боковыми поверхностями также соблюдено не везде и составляет меньше установленного.

Основные факторы, характеризующие микроклимат – это подвижность, температура, влажность воздуха. Отклонение этих параметров приводит к снижению производительности труда, ухудшению самочувствия работника и заболеванию. Работа при высокой температуре приводит к потере водорастворимых витаминов и обезвоживанию организма, а также возникает ослабление внимания, и замедления реакции и т.д.

Высокая влажность ведет к переохлаждению или перегреванию. Низкая влажность вызывает неприятные ощущения. Согласно СанПиНу 2.2.4.548-96 оптимальные метеорологические условия влажности, скорость движения воздуха и температуры при разном периоде года представлены в таблице 39 [37].

Таблица 39 – Оптимальные нормы параметров микроклимата

Период года	Параметр	Величина
Холодный	Температура	22...24°C
	Относительная влажность	40...60%
	Скорость движения воздуха	до 0,1м/с

Теплый	Температура	23...25°C
	Относительная влажность	40...60%
	Скорость движения воздуха	0,1...0,2м/с

Дипломная работа выполнена с применением компьютера. Основной вредный фактор компьютера – это электромагнитное излучение. При работе с компьютером источник электромагнитного излучения – это электрические сигналы цепей. Воздействие электромагнитных полей на человека зависит от напряженностей электрического и магнитного полей, потока энергии, частоты колебаний, размера облучаемой поверхности тела и индивидуальных особенностей организма [37].

Согласно технической спецификации мониторов, соответствуют стандарту ТСО'03. Это значит, что напряженность электромагнитного поля вокруг монитора по электрической составляющей в диапазоне частот 5 Гц–2 кГц составляет не более 10 В/м, что соответствует нормам ТСО'03 и СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [38].

Согласно СанПиНу 2.4.1340-03 напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50 см вокруг ВДТ должна быть в следующем пределе:

в диапазоне 2 – 400 кГц – 2.5 в/м.;

в диапазоне 5 Гц – 2 кГц – 25 в/м;

Под вредным воздействием ПЭВМ на организм человека происходит нагрузка на зрение, заболевание кожи лица, нервные и психические

заболевания и т.д. Допустимая напряжённость электрического поля: 25 В/м (5Гц-2кГц) и 2,5 В/м (2-400 кГц).

В работе основной источник шума – это вакуумный насос. По представленным нормам, допустимый уровень шума принято – это 40 децибел (дБ) ночью и 55 децибел (дБ) в дневное время. Длительное воздействие *шума* на организм человека приводит к следующим последствиям:

- а) снижается производительность труда;
- б) снижается чувствительность слуха [39].

Рациональное освещение рабочего места позволяет предупредить травматизм и многие профессиональные заболевания. Существуют три вида освещения: естественное, искусственное к системам производственного освещения предъявляются следующие требования:

- а. соответствие уровня освещенности характеру выполняемой работы;
- б. достаточно равномерное распределение яркости на рабочих поверхностях и в окружающем пространстве;

Зрительная работа программиста характеризуется как работа очень высокой степени точности. Что требует освещенности в 300 – 500 лк. Допускается установка светильников местного освещения для подсветки документов. Светильники местного освещения должны иметь не просвечивающий отражатель с защитным углом не менее 40 градусов [39].

Так как в данном спектрометре используется радиоактивный источник. То возникает проблему о безопасности радиоактивного излучения. В радиоактивной практике уставлен предел интенсивности радиоактивного излучения, получаемой человеком. Предел интенсивности радиоактивного излучения для рабочих за год при равномерном излучении – это 0,05 Дж/кг без учёта излучения в больнице и природного излучение. Предел интенсивности

радиоактивного излучения для обычных людей в общем пространстве за год при равномерном излучении – это 0,005 Дж/кг.

Воздействие электрического напряжения на человека связано с протеканием через него тока. Прохождение тока может вызывать у человека раздражение и повреждение различных органов. Пороговый не отпускающий ток составляет 50 Гц (6-16мА). Защита от воздействия электрического тока осуществляется путем проведения организационных, инженерно-технических и лечебной-профилактических мероприятий [39].

Лабораторная работа всегда приводит к образованию различных отходов: абразивных материалов, отходы бумаги. При работе с установкой спектрометров ЭПА возможное образование отходов – это бумага и металлы. Бумага используется для отшлифовки металлов. Эти отходы могут вызвать загрязнение литосферы. Для охраны поверхностных и подземных вод от загрязнения и истощения, можно использовать бумагу повторно и перерабатывать отходы металлов методом повторного изготовления.

5.2 Организационные мероприятия обеспечения безопасности

Различные фильтры используют для защиты от электромагнитных полей. Кроме этого, для ослабления влияния рассеянного рентгеновского излучения рекомендуется использовать защитные фильтры (экраны). Одно средство защита от шума – это балансировка вращающихся деталей, соответствующей смазки, уменьшение зазоров в зацеплениях механических передач.

Для обеспечения безопасности перед началом работы необходимо правильно надеть спецодежду, подготовить для работы необходимый инструмент и приспособления, приготовить рабочий стол. Также необходимо

проверить отсутствие внешних повреждений электрооборудования, наличие и исправность контрольных, измерительных и сигнальных приборов, компьютера, тумблеров, переключателей и т.д. При выявлении неисправностей, не допускается проводить ремонт самостоятельно, необходимо доложить руководителю лаборатории. Наладка прибора и его ремонт осуществляется только сервис-инженерами.

При работе с позитроном спектрометром необходимо надеть спецодежду и открыть счетчик Гейгера чтобы утверждать, что, интенсивность радиоактивного излучения в данном помещении за предел норма. При операции с источником необходим за защиту изделия из свинца толщины 10 см. изделия из свинца необходимо поставить в правильном месте и в правильной позиции чтобы максимально защищать людей от радиоактивного излучения. Соответственные положение представлены в следующем месте.



Рисунок 14 – Положение свинца для защиты радиоактивного излучения

5.3 Особенности законодательного регулирования проектных решений

К работе на установки спектрометров ЭПА допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющие медицинские противопоказания, прошедшие обучение безопасности труда и инструктаж на рабочем месте.

Проведение всех видов инструктажа должно оформляться в Журнале регистрации инструктажа установленного образца, с обязательными подписями получившего и проводившего инструктаж, с указанием даты проведения инструктажа, наименования и номеров инструкции на виды работ, по которым проводится инструктаж [40].

По данной теме рассматриваются законодательный и нормативные документы:

- инструкция № 2-14 по охране труда при работе с электрооборудованием напряжением до 1000 В;

Документы по воздействию ПЭВМ:

- СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы;

- ГОСТ Р 50923-96. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.

- Микроклимат:

- ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные помещения.

Параметры микроклимата в помещении;

- СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При возникновении возгорания необходимо немедленно прекратить работу, закрыть баллон с газом, отключить электрооборудование, позвонить в подразделение пожарной охраны по телефону 01 или 010, сообщить о случившемся руководителю подразделения и приступить к тушению огня первичными средствами пожаротушения.

В рамках обеспечения пожарной безопасности решаются четыре задачи: предотвращение пожаров и возгорания, локализация возникших пожаров, защита людей и материальных ценностей, тушение пожара. Предотвращение пожара достигается путем исключения легко воспламеняемых предметов и источников возгорания, а также поддержанием среды в условиях, препятствующих возгоранию.

Для предотвращения возникновения пожара с работниками здания проводятся специальные семинары, на которых происходит знакомство с основами противопожарной безопасности и обучение работе с первичными средствами пожаротушения [39]. На рисунке 15 изображен план эвакуации.



Рисунок 15 – План эвакуации

Возникновение пожара в рассматриваемом помещении обуславливается следующими факторами:

- наличие легко воспламеняемых элементов: документы, двери, столы и т.п.;

Пожар может возникнуть из-за:

- неисправности электропроводки, розеток и выключателей, которые могут привести к короткому замыканию или пробое изоляции;

В современных ЭВМ очень высокая плотность размещения элементов электронных схем. При этом возможно плавление изоляции, и как следствие короткое замыкание, которое сопровождается искрением и ведет к недопустимым перегрузкам элементов микросхем. Для отвода избыточной теплоты в ЭВМ используют внутренние вентиляторы.

При поражении работника электрическим током необходимо как можно скорее освободить пострадавшего от воздействия электрического тока,

проверить состояние пострадавшего и вызвать при необходимости скорую помощь. До приезда скорой помощи оказать пострадавшему необходимую первую помощь или, при необходимости, организовать доставку пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение, о произошедшем несчастном случае поставить в известность руководителя структурного подразделения.

Для тушения пожара имеются пожарные стволы, внутренние пожарные водопроводы, огнетушители и сухой песок [39].

Вода используется для тушения пожаров в помещениях программистов только в случае опасности повреждения или полного выхода из строя дорогостоящего оборудования. При этом, по возможности, необходимо защитить компьютеры от попадания влаги.

Благодаря диэлектрическим свойствам углекислого газа можно использовать эти огнетушители даже в том случае, когда не удастся обесточить электроустановку сразу [35].

5.5 Вывод по социальной части

В ходе рассмотрения безопасности и гигиены труда при осуществлении работ исследования дефектной структуры с помощью установки спектрометров ЭПА, были выявлены вредные и опасные факторы рабочей зоны, причины и средства защиты, рассмотрены чрезвычайные ситуации и поведение в них.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы рассмотрены основные методы электрон-позитронной аннигиляции и их физические основы, поскольку они являются эффективными инструментами для исследования сложных структурных дефектов типа «вакансионный дефект-примесь». Особую роль в изучении данного типа дефектов играет метод спектрометрии временного распределения аннигиляции позитронов, так как с помощью данного метода возможно определить тип дефектов и их концентрацию.

Проведена оптимизация и настройка цифрового модуля спектрометрии временного распределения аннигиляции позитронов. Для повышения эффективности работы установки разработана и введена в эксплуатацию дополнительная цепь в спектрометрическом тракте. В данной цепи происходит предварительная селекция совпадающих сигналов, таким образом, в память многоканального анализатора записываются только коррелирующие события, что позволило существенно повысить временное разрешение до 165 ± 9 пс при сохранении скорости счета.

Апробация экспериментальных возможностей спектрометра проведена на серии образцов разных химических элементов, показано, модуль работает корректно, полученные значения для всех стандартных образцов согласуются с литературными данными.

Прецизионно установлены компоненты вклада источника для обоих режимов работы модуля:

для прямого режима - время жизни позитронов в защитной титановой капсуле $149,0 \pm 0,2$ пс, время жизни позитронов в соли источника $415,6 \pm 0,1$ пс, время жизни ортопозитрония $2,67 \pm 0,2$ нс.

для обратного режима - время жизни позитронов в защитной титановой капсуле $149,4 \pm 0,2$ пс, время жизни позитронов в соли источника $428,6 \pm 0,1$ пс, время жизни ортопозитрония $2,72 \pm 0,2$ нс.

Список литературы

1. Лаптев Р.С. Разработка метода аннигиляции позитронов для контроля дефектной структуры в системах металл-волокно: Дисс. канд. технич. наук: 05.11.13 / Лаптев Роман Сергеевич; Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Национальный исследовательский Томский политехнический университет. -Томск, 2014. -129 с.
2. Hautojärvi P. Positrons in Solids. Series: Topics in Current Physics, – Berlin, Springer Berlin Heidelberg, 1979, – 276 p.
3. Nieminen R. M., Manninen M. J. Positrons in imperfect solids: theory. – Springer Berlin Heidelberg, 1979. – С. 145 –195.
4. Brandt W., Dupasquier A. Positron solid-state physics. – Amsterdam: North-Holland Pub. Co., 1983. – 710 p.
5. West R. N. Positron studies of lattice defects in metals //Positrons in Solids. – Springer Berlin Heidelberg, 1979. – P. 89-144.
6. West R. N. Positron studies of condensed matter //Advances in Physics. – 1973. – Vol 22. – №. 3. – P. 263-383.
7. Puska M. J., Nieminen R. M. Defect spectroscopy with positrons: a general calculational method //Journal of Physics F: Metal Physics. – 1983. – Vol. 13. – №. 2. – С. 333.
8. Krause-Rehberg R., Leipner H. S. Positron annihilation in semiconductors: defect studies. – Springer, 1999. – 324 p.
9. Трошин В.С. Характеристики радионуклидов для градуировки гамма-спектрометров: Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2011. – 104 с.
10. Jones R. O., Gunnarsson O. The density functional formalism, its applications and prospects //Reviews of Modern Physics. – 1989. – Vol. 61. – №.

3. – P. 689.

11. Boroński E., Nieminen R. M. Electron-positron density-functional theory //Physical Review B. – 1986. – Vol. 34. – №. 6. – P. 3820.

12. Nieminen R. M., Boronski E., Lantto L. J. Two-component densityfunctional theory: Application to positron states //Physical Review B. – 1985. – Vol. 32. – №. 2. – p. 1377.

13. Krause–Rehberg R., Leipner H. S. Positron annihilation in semiconductors: defect studies. – Springer, 1999. – 324 p.

14. Berko S., Brandt W., Dupasquier A. Positron Solid State Physics //Proc. Int. School Phys. Enrico Fermi Course. – 1983. – Vol. 83. – P. 76.

15. Berko S., Brandt W., Dupasquier A. Positron Solid State Physics //Proc. Int. School Phys. Enrico Fermi Course. – 1983. – Vol. 83. – P. 76.

16. Ceperley D. M., Alder B. J. Ground state of the electron gas by a stochastic method //Physical Review Letters. – 1980. – Vol. 45. – №. 7. – P. 566.

17. Perdew J. P. Density-functional approximation for the correlation energy of the inhomogeneous electron gas //Physical Review B. – 1986. – P. 33. – №. 12. – P. 8822.

18. Perdew J. P., Wang Y. Accurate and simple analytic representation of the electron-gas correlation energy //Physical Review B. – 1992. – Vol. 45. – №. 23. – P. 13244.

19. Boev O. V., Puska M. J., Nieminen R. M. Electron and positron energy levels in solids //Physical Review B. – 1987. – Vol. 36. – №. 15. – P. 7786.

20. Ritchie R. H. Interaction of charged particles with a degenerate FermiDirac electron gas //Physical Review. – 1959. – Vol. 114. – №. 3. – P. 644.

21. Dupasquier A., Mills Jr. Positron spectroscopy of solids. – IOS Press, 1995 – 780 p.

22. Brandt W., Paulin R. Positron implantation-profile effects in solids //Physical Review B. – 1977. – Vol. 15. – №. 5. – P. 2511.
23. Dupasquier A., Romero R., Somoza A. Positron trapping at grain boundaries //Physical Review B. – 1993. – Vol. 48. – №. 13. – P. 9235.
24. Мотивация персонала. Ядерная электроника для пользователей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/electronics/index.html>
25. Графутин В. И., Прокопьев Е. П. Применение позитронной аннигиляционной спектроскопии для изучения строения вещества //Успехи физических наук. – 2002. – Т. 172. – №. 1. – С. 67-83.
26. Прокопьев Е.П., Тимошенков С.П., Графутин В.И., Мясищева Г.Г., Фунтиков Ю.В. Позитроника ионных кристаллов, полупроводников и металлов. Монография. - М.: МИЭТ, 1999. - 176 с.
27. Бритков О. М. и др. Применение метода позитронной аннигиляционной спектроскопии для исследования дефектов структуры твердого тела //Вопросы атомной науки и техники. Сер. теор. и прикл. физика. – 2004. – №. 3. – С. 40-50.
28. Графутин В. И. и др. Позитроника и нанотехнологии: возможности изучения нанообъектов в материалах и наноматериалах методом позитронной аннигиляционной спектроскопии //Ядерная физика. – 2009. – Т. 72. – №. 10. – С. 1730-1739.
29. Графутин В. И. и др. Определение размеров дефектов вакансионного типа в ангстремных диапазонах методами позитронной аннигиляционной спектроскопии //Микроэлектроника. – 2011. – Т. 40. – №. 6. – С. 468-475
30. Xiong K., Robertson J. Hydrogen-induced defects and degradation in oxide ferroelectrics //Applied physics letters. – 2004. – Vol. 85. – P. 2577.

31. Шендрик Р. Ю. Механизмы переноса возбуждения в кристаллах щелочноземельных фторидов, активированных ионами церия и празеодима: Дис. ... канд. технич. наук: 01.04.07/ Шендрик Роман Юрьевич; Учреждение Российской академии наук Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения РАН. -Иркутск, 2011. -147с.

32. Photomultiplier tubes and related products – Hamamatsu [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.hamamatsu.com/resources/pdf/etd/PMT_TPMZ0001E01.pdf (дата обращения: 16.09.2014)

33. J M Campillo Robles, E Ogando and F Plazaola Positron lifetime calculation for the elements of the periodic table // Journal of physics: condensed matter. - 2007. - №17. - С. 9-13

34. Графутин В.И., Прокопьев Е.П. Применение и развитие методов позитронной аннигиляционной спектроскопии для определения природы, концентраций и размеров нанобъектов в пористых системах, дефектных материалах и наноматериалах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.portalus.ru/modules/science/data/files/prokopiev/ITEP-Pos-Prokop.pdf#2>

35. Видяев И.Г. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: Учебное пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. СЕРИКОВА, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

36. Маркеева Т.П. Абрамкина Н.Г. Методические указания по выполнению организационно-экономической части дипломного проекта для студентов специальностей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vbibl.ru/ekonomika/60658/index.html>

37. Ковалев А. В. Исследование процесса плазменной утилизации горючих отходов переработки отработавшего ядерного топлива [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://samzan.ru/138157>

38. Мотивация персонала. Расчёт экономической эффективности научной-технической продукции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://litcey.ru/ekonomika/116602/index.html>

39. Евсеев А.Я. Улучшение условий и охраны труда работников агропромышленного комплекса с учетом аттестации рабочих мест [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dlib.rsl.ru/01003318843>

40. Урбанович А. И Охрана труда [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dlib.rsl.ru/01003318843>